

## 複素行列法による電力系統の高調波電流の数値解析結果

そ の V

日 原 良 造

Numerical analysis of harmonic currents in ac power systems  
by complex matrix method Part V

Ryozo HIHARA

Author carried out the numerical analysis of harmonic currents distribution due to exciting currents of power transformers in ac power systems, which had been published in previous report Part III and Part IV, by M760/8 digital computer.

In this paper the author reports in detail the result of numerical calculation referring to above problem.

The summarized conclusions are following:

- ① It is authenticated that the accurate numerical analysis of harmonic currents distribution is obtained by complex matrix method.
- ② The unbalance factor ( $I_2/I_1$ ) of fundamental wave current is always 0.43% at 96%, 100% and 108% of system rating supply voltage.
- ③ The percentage of 3rd. harmonic currents to fundamental wave currents is respectively 1.0%, 1.5%, 2.6% at 96%, 100%, and 108% system supply voltage.
- ④ The percentage 5th harmonic currents to fundamental wave currents is respectively 3.3%, 3.9%, 4.4% at 96%, 100%, and 108% system supply voltage.
- ⑤ It is necessary to establish the reduction countermeasure for such higher order percentage of harmonic wave to fundamental wave at the power system operation.

### 1. まえがき

モデル電力系の電力用変圧器に起因する高調波電流分布の理論的解析法については、第Ⅲ報、第Ⅳ報において詳述している。

今回、上記モデル系統を対象に、本学の大型電子計算機(M760/8)を用いて数値解析を行い、著者の提唱する複素行列法による解析理論をこのような大規模系統に適用しても、精度の高い数値解析を実施しうることが証明されたので、これらの成果について報告する。

## 2. モデル電力系統

モデル電力系統の詳細は、紀要の第Ⅰ報<sup>(1)</sup>、第Ⅱ報<sup>(2)</sup>、第Ⅲ報<sup>(3)</sup>、および第Ⅳ報<sup>(4)</sup>において報告しているが、モデル系統の構成についてのみ再録する。

2-1 3次送電系の概要。図1に示すとおりの受電変電所の総容量は、 $3 \times 100\text{MVA}$ （3バンク）のY-Y- $\Delta$ 結線3巻線変圧器を設置し、その中性点はそれぞれ高抵抗接地式、消弧リアクトル接地式を採用している。

この変電所より互長12kmの63kV送電系4フィーダに電力を供給している。また各フィーダには2km間隔で、 $\Delta$ - $\Delta$ 結線10MVA配電用変電所が6ヶ所に設置されている。したがって配電用変電所数は合計24となる。

2-2 10MVA配電系の概要。図2に示すとおりの10MVA配電用変電所と6回線の6.9kV配電系とより構成されている。また各配電系は1.5km間隔に進み接続V-V結線変圧器（容量200/100kVA）を設置し、互長の2/3地点に力率改善用コンデンサを設置して負荷に電力を供給している。

2-3 系統の集約法。図2の系統に電圧降下等価互長法（fL）を適用して集約すると図3となる。すなわち各フィーダとも5.2kmの地点に1200/600kVA容量の進み接続V-V結線変圧器と力率改善用コンデンサを集中配置するのと等価になる。

したがって、V-V結線変圧器は合計144設置されていることになる。

## 3. 数値解析

第Ⅲ報、第Ⅳ報で詳述しているように、このプログラムは基本波の入力電圧を指定すれば、モデル系統の母線部（1～7）、63kVフィーダ部（1～13）、および6組の10MVA配電系（1～8）の各地点における基本波、第3調波、および第5調波の

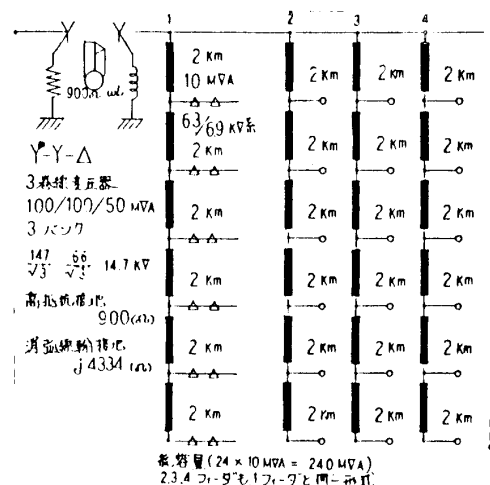


図1 モデル電力系統

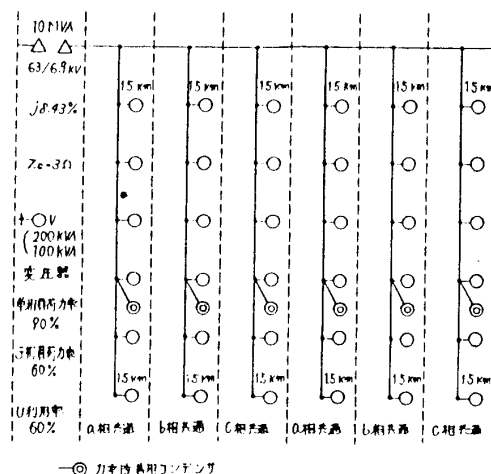


図2 モデル配電系統

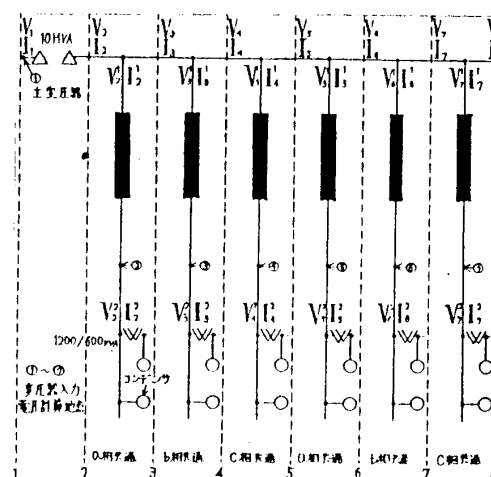


図3 集約系統

電圧電流分布が同時に数値解析しうるように組み立てられている。

このプログラムを用いて変圧器1次側定格線間電圧147kVのそれぞれ108%，100%，96%，となる平衡3相起電力を供給した場合について数値解析を行っている。

3-1 基本波の数値解析結果。変電所の1次側に定格の3相平衡電圧を加えた場合の数値解析結果を表1に示す。

(1) 母線部。母線部各地点の計算結果を示しているが、基本波入力電圧は相電圧で84.9kVとなる。同表の3, 4, 5, 6地点は母線部の4組の63kV系分岐線に流入する、母線部のA相電流, 正相分電流, および逆相分電流のベクトル量を示している。

電流不平衡率( $I_2/I_1$ )は1地点を除き0.43%と小さく、電圧, 電流の平衡がよく保たれていることを示している。

表1-(1) 母線部基本波計算結果 (受電電圧147kV)

	1	3	4	5	6
$V_A$ (KV)	84.9, $0^\circ$	37.1, $-2.2^\circ$	37.1, $-2.2^\circ$	37.1, $-2.2^\circ$	37.1, $-2.2^\circ$
$V_{AB}$ (KV)	147.0, $30.0^\circ$	64.2, $27.8^\circ$	64.2, $27.8^\circ$	64.2, $27.8^\circ$	64.2, $27.8^\circ$
$I_A$ (A)	610.0, $-37.5^\circ$	1353, $-37.0^\circ$	1015, $-37.0^\circ$	677.0, $-37.0^\circ$	338.0, $-37.0^\circ$
$I_1$ (A)	609.0, $-37.1^\circ$	1352, $-36.9^\circ$	1014, $-37.0^\circ$	676.0, $-37.0^\circ$	338.0, $-37.0^\circ$
$I_2$ (A)	3.6, $-122.0^\circ$	5.8, $-115.0^\circ$	4.4, $-115.0^\circ$	2.9, $-115.0^\circ$	1.46, $-115.0^\circ$
$I_2/I_1$ (%)	0.59	0.43	0.43	0.43	0.43

(2) 63kVフィーダ部。63kV系の1フィーダの1, 4, 6, 8, 10, 12地点は同系統に接続されている6組の10MVA配電系に分流するA相電流, 正相分電流, および逆相分電流を記録している。

電流不平衡率( $I_2/I_1$ )は各地点とも母線部の0.43%と一致している。

表1-(2) 63kV12kmフィーダ部基本波計算結果 (受電電圧147kV)

	1	4	6	8	10	12
$V_A$ (KV)	37.1, $-2.2^\circ$	36.7, $-2.7^\circ$	36.6, $-2.9^\circ$	36.5, $-3.1^\circ$	36.4, $-3.2^\circ$	36.4, $-3.2^\circ$
$V_{AB}$ (KV)	64.2, $27.8^\circ$	63.6, $27.3^\circ$	63.4, $27.1^\circ$	63.2, $27.0^\circ$	63.1, $26.9^\circ$	63.1, $26.8^\circ$
$I_A$ (A)	338.0, $-37.0^\circ$	281.0, $-37.0^\circ$	225.0, $-37.3^\circ$	168.0, $-37.4^\circ$	112.0, $-37.5^\circ$	56.2, $-37.5^\circ$
$I_1$ (A)	338.0, $-37.0^\circ$	281.0, $-37.0^\circ$	225.0, $-37.1^\circ$	168.0, $-37.0^\circ$	112.0, $-37.2^\circ$	56.1, $-37.3^\circ$
$I_2$ (A)	1.46, $-115.0^\circ$	1.2, $-115.0^\circ$	0.97, $-115.0^\circ$	0.72, $-115.0^\circ$	0.48, $-115.0^\circ$	0.24, $-115.0^\circ$
$I_2/I_1$ (%)	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43

表1-(3) 10MVA配電系基本波計算結果(受電電圧147kV)

## ①Dis 1

	1	2	3	4	5	6	7
$V_A$ (KV)	36.9, -2.5°	4.0, -3.3°	4.0, -3.3°	4.0, -3.3°	4.0, -3.3°	4.0, -3.3°	4.0, -3.3°
$V_{AB}$ (KV)	63.9, 27.5°	6.93, 26.7°	6.93, 26.7°	6.93, 26.7°	6.93, 26.7°	6.93, 26.7°	6.93, 26.7°
$I_A$ (A)	56.9, -36.8°	509.0, -35.7°	403.0, -30.6°	297.0, -36.1°	255.0, -35.7°	151.0, -21.9°	42.5, -38.5°
$I_B$ (A)	56.6, -156.0°	512, -156.0°	470, -155.0°	363, -149.0°	256, -156.0°	213, -155.0°	112, -135.7°
$I_C$ (A)	57.0, 83.6°	512.0, 84.0°	409.0, 79.0°	367.0, 78.5°	256.0, 84.0°	156.0, 70.1°	114.0, 66.0°
$I_1$ (A)	56.8, -36.6°	511.0, -35.7°	426.0, -35.7°	341.0, -35.7°	256.0, -35.7°	171.0, -35.6°	85.3, -35.6°
$I_2$ (A)	0.25, -114.0°	1.82, 140.0°	43.6, 88.7°	43.8, 147.0°	0.91, 140.0°	43.0, 87.8°	42.9, 147.0°
$I_2/I_1$ (%)	0.43	0.36	10.2	12.8	0.36	25.0	50.0

## ②Dis 2

	1	2	3	4	5	6	7
$V_A$ (KV)	36.7, -2.7°	3.98, -3.5°	3.98, -3.5°	3.98, -3.5°	3.98, -3.5°	3.98, -3.5°	3.98, -3.5°
$V_{AB}$ (KV)	63.6, 27.3°	6.9, 26.5°	6.9, 26.5°	6.9, 26.5°	6.9, 26.5°	6.9, 26.5°	6.9, 26.5°
$I_A$ (A)	56.6, -37.0°	507.0, -35.9°	401.0, -30.8°	296.0, -36.3°	254.0, -35.9°	151.0, -22.1°	42.3, -38.8°
$I_B$ (A)	56.4, -157.0°	510, -156.0°	468, -155.5°	362, -149.8°	255, -156.0°	213, -155.0°	111, -136.0°
$I_C$ (A)	56.8, 83.4°	510.0, 83.8°	408.0, 78.6°	365.0, 78.3°	255.0, 83.9°	156.0, 69.9°	114.0, 65.7°
$I_1$ (A)	56.6, -36.8°	509.0, -36.0°	425.0, -35.9°	339.0, -35.9°	255.0, -35.9°	170.0, -35.9°	85.0, -35.9°
$I_2$ (A)	0.24, -114.0°	1.83, 139.0°	43.4, 88.5°	43.7, 147.0°	0.91, 139.0°	42.8, 87.5°	42.8, 147.0°
$I_2/I_1$ (%)	0.43	0.36	10.0	13.0	0.36	25.0	50.0

## ③Dis 3

	1	2	3	4	5	6	7
$V_A$ (KV)	36.6, -2.9°	3.97, -3.7°	3.97, -3.7°	3.97, -3.7°	3.97, -3.7°	3.97, -3.7°	3.97, -3.7°
$V_{AB}$ (KV)	63.4, 27.1°	6.88, 26.3°	6.88, 26.3°	6.88, 26.3°	6.88, 26.3°	6.88, 26.3°	6.88, 26.3°
$I_A$ (A)	56.5, -37.2°	506.0, -36.1°	400.0, -31.0°	295.0, -36.5°	253.0, -36.1°	150.0, -22.3°	42.2, -39.0°
$I_B$ (A)	56.2, -157.0°	509, -156.0°	466, -156.0°	361, -150.0°	254, -156.0°	212, -155.0°	111, -136.1°
$I_C$ (A)	56.6, 83.2°	508.0, 83.7°	406.0, 78.4°	364.0, 78.1°	254.0, 83.7°	155.0, 69.7°	114.0, 65.5°
$I_1$ (A)	56.4, -37.0°	508.0, -36.2°	423.0, -36.1°	338.0, -36.1°	254.0, -36.1°	169.0, -36.1°	84.7, -36.1°
$I_2$ (A)	0.24, -115.0°	1.83, 139.0°	43.3, 88.3°	43.5, 147.0°	0.92, 139.0°	42.7, 87.3°	42.6, 147.0°
$I_2/I_1$ (%)	0.43	0.36	10.0	13.0	0.36	25.0	50.0

(3) 3組の10MVA配電系部。6組の配電系について数値解析を行っているが、ページ数の制約から、3組の配電系についてのみ、その結果を示すことにする。

3系統とも数値解析結果が類似しているので、Dis 1について述べる。

第Ⅱ報で既に報告しているように、系統全体の平衡化に重点を置いて数値解析しているので、1と5地点が実系統の基本波電圧電流分布を推定するのに役立つと考えられる。すなわち各相電流の平衡はよく保たれ、電流不平衡率( $I_2/I_1$ )は1と5地点においてそれぞれ0.43%、0.36%と低い値を示している。

(4) 以上述べたことを要約すると、基本波については、△10MVA配電系の負荷の平衡化に努力すれば、母線部、フィーダ部、および10MVA配電系の電流不平衡率( $I_2/I_1$ )は殆どの地点で0.43%の一定値に保持しうるということが明らかになった。

基本波の計算終了と同時に3巻線変圧器、各10MVA△変圧器、および各々のV-V結線変圧器の基本波端子電圧を自動的に計算して、後述の計算に必要な各高調波電流源の93組のベクトル量

を求めるようプログラムされている。

3-2 第3調波の数値解析結果。前述のとおり基本波定格電圧を入力した場合の数値解析結果を表2に示す。

(1) 母線部。母線部各地点の各相電流，正相分電流，逆相分電流，電流不平衡率（ $I_2/I_1$ ），および第3調波線電流と基本波線電流との比率（%）を記録している。

これによると1地点を除き電流不平衡率，基本波電流に対する比率はそれぞれ83%，1.5%と一定値を示している。

一方，1地点の電流不平衡率，基本波電流との比率はそれぞれ56%，2.13%となっているが，これはY-Y-△変圧器の電流源の影響を受けて電流不平衡率は低下し，基本波に対する比率が増大するものと判断する。

表2-(1) 母線部第3調波計算結果（受電電圧147kV）

	1	3	4	5	6
$I_A$ (A)	6.0, 83.5°	4.4, 121.0°	3.26, 121.0°	2.2, 121.0°	1.09, 121.0°
$I_B$ (A)	13.1, -64.2°	20.6, -33.9°	15.4, -34.0°	10.3, -33.9°	5.14, -33.9°
$I_C$ (A)	8.74, 138.0°	16.7, 152.5°	12.5, 152.5°	8.4, 152.5°	4.18, 152.5°
$I_1$ (A)	8.49, 50.0°	11.9, 68.3°	8.9, 68.3°	5.96, 68.3°	2.98, 68.3°
$I_2$ (A)	4.79, -173.6°	9.9, -132.0°	7.4, -132.2°	4.95, -132.2°	2.47, -132.2°
$I_2/I_1$ (%)	56	83	83	83	83
対基本波比 (%)	2.13	1.5	1.5	1.5	1.5

(2) 63kVフィーダ部。63kVフィーダ部の電流不平衡率および基本波に対する比率は母線部の83%と1.5%と殆ど一致している。

表2-(2) 63kV12kmフィーダ部第3調波計算結果（受電電圧147kV）

	1	4	6	8	10	12
$I_A$ (A)	1.09, 12.1°	0.89, 120.0°	0.7, 119.4°	0.52, 118.4°	0.34, 118.6°	0.17, 116.8°
$I_B$ (A)	5.14, -33.9°	4.25, -34.0°	3.36, -34.5°	2.52, -34.6°	1.66, -34.8°	0.84, -34.6°
$I_C$ (A)	4.2, 152.5°	3.47, 152.4°	2.75, 152.0°	2.07, 152.0°	1.36, 151.7°	0.69, 152.3°
$I_1$ (A)	2.98, 68.3°	2.47, 67.9°	1.95, 67.5°	1.47, 67.3°	0.97, 67.0°	0.49, 67.1°
$I_2$ (A)	2.47, -132.2°	2.05, -132.2°	1.62, -132.5°	1.21, -132.4°	0.8, -132.7°	0.4, -132.0°
$I_2/I_1$ (%)	83	83	83	82	82	81
対基本波比 (%)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

(3) 3組の10MVA配電系部。前述と同様3組の配電系の数値解析結果を示している。

第Ⅱ報の単独10MVA配電系においては基本波負荷の平衡化に努力すれば，第3調波電流はそれぞれの節点において軽減しうることを強調しておいた。

今回のように上位系統に連系されると，表に示すとおり，その効果は認められず，各地点の基本波に対する比率は増大している。

この理由は63kV系の1フィーダに6組の△結線10MVA変圧器が存在するため，これらの高調波電流の正相分電流と逆相電流が下位系統に影響するものと判断する。

表2-(3) 10MVA配電系第3調波計算結果(受電電圧147kV)

## ①Dis 1

	1	2	3	4	5	6	7
$I_A$ (A)	0.19, 126.1°	0.42, 73.3°	1.16, 17.7°	1.22, 15.7°	0.21, 73.3°	1.06, 8.2°	1.12, 6.5°
$I_B$ (A)	0.88, -32.6°	1.18, -74.6°	1.28, -132.6°	0.78, -82.5°	0.59, -74.6°	1.09, -160.0°	0.21, -105.0°
$I_C$ (A)	0.7, 153.3°	0.85, 120.9°	0.63, 112.5°	1.35, 161.0°	0.42, 121.0°	0.22, 96.5°	1.06, 175.7°
$I_1$ (A)	0.506, 70.0°	0.73, 35.0°	0.99, -0.15°	1.09, 31.0°	0.365, 35.0°	0.73, -17.0°	0.73, 28.9°
$I_2$ (A)	0.43, -132.1°	0.48, -178.6°	0.37, 72.5°	0.33, -44.6°	0.24, -178.6°	0.5, 45.9°	0.52, -25.6°
$I_2/I_1$ (%)	85	66	37	30	64	68	71
対基本波比(%)	1.5						

## ②Dis 2

	1	2	3	4	5	6	7
$I_A$ (A)	0.19, 121.0°	0.52, 69.0°	2.0, 6.5°	2.07, 5.9°	0.26, 69.0°	1.89, -0.5°	1.97, -0.9°
$I_B$ (A)	0.89, -32.7°	1.44, -62.0°	1.61, -146.0°	0.92, -71.5°	0.72, -62.0°	1.7, -171.0°	0.24, -101.0°
$I_C$ (A)	0.73, 154.0°	1.17, 137.0°	0.92, 134.0°	2.44, 164.0°	0.58, 137.0°	0.34, 127.0°	1.94, 172.0°
$I_1$ (A)	0.52, 69.4°	0.97, 45.0°	1.44, -3.7°	1.71, 30.6°	0.48, 45.0°	1.18, -21.7°	1.24, 25.0°
$I_2$ (A)	0.43, -131.0°	0.54, -158.0°	0.63, 30.0°	0.88, -48.0°	0.27, -158.0°	0.9, 27.7°	1.0, -34.0°
$I_2/I_1$ (%)	83	56	44	51	56	77	81
対基本波比(%)	1.5						

## ③Dis 3

	1	2	3	4	5	6	7
$I_A$ (A)	0.18, 122.0°	0.44, 76.2°	1.11, 18.5°	1.16, 16.2°	0.22, 76.2°	1.01, 7.8°	1.07, 5.9°
$I_B$ (A)	0.84, -34.2°	1.3, -71.6°	1.25, -126.0°	0.86, -79.0°	0.65, -72.0°	1.02, -158.0°	0.22, -100.0°
$I_C$ (A)	0.68, 152.0°	0.97, 122.0°	0.73, 116.0°	1.38, 158.0°	0.48, 122.0°	0.25, 103.0°	1.03, 174.0°
$I_1$ (A)	0.48, 68.1°	0.81, 36.7°	1.01, 3.1°	1.11, 31.4°	0.4, 36.7°	0.71, -15.2°	0.71, 28.4°
$I_2$ (A)	0.41, -133.0°	0.54, -174.0°	0.3, -81.0°	0.3, -57.1°	0.27, -174.0°	0.456, 45.5°	0.49, -27.7°
$I_2/I_1$ (%)	85	67	30	27	68	64	69
対基本波比(%)	1.5						

(4) 以上、述べたことを要約すると第3調波の電流分布は上位系統の電力用変圧器の第3調波成分の影響を受けることが明らかになった。また、母線部の1地点を除き、母線部、63kVフィード部、および△10MVA配電系1地点の電流不平衡率、および基本波電流に対する比率は殆ど83%、1.5%と一定値に保たれている。

3-3 第5調波の数値解析結果。前述のとおり基本波定格電圧を入力した場合の数値解析結果を表3に示す。

(1) 母線部。母線部各地点の各相電流、正相分電流、逆相分電流のベクトル量、電流不平衡率、および基本波電流との比率を記録している。

これによると1地点を除き電流不平衡率は462~466%と理論式どおり逆相分電流の勢力が強く第3調波に比較して各相電流の不平衡が目立っている。

線電流の基本波に対する比率は1地点を除き3.9%と第3調波に比較して2倍近い値となっている。このような高い比率となることは系統運用上留意する必要があると考えられる。

1地点の電流不平衡率および基本波電流の比率が513%、4.45%と大きいのはY-Y-△変圧

器の第5調波電流源の影響によるものと判断する。

表3-(1) 母線部第5調波計算結果(受電電圧147kV)

	1	3	4	5	6
$I_A$ (A)	27.4, -10.7°	52.9, -12.3°	39.7, -12.3°	26.4, -12.3°	13.2, -12.3°
$I_B$ (A)	19.4, 108.0°	36.5, 100.0°	27.4, 100.0°	18.3, 100.0°	9.13, 100.0°
$I_C$ (A)	24.6, -147.0°	51.6, -151.0°	38.7, -151.0°	25.8, -151.0°	12.9, -151.0°
$I_1$ (A)	4.6, 21.2°	10.0, 34.0°	7.53, 34.0°	5.0, 34.0°	2.51, 34.0°
$I_2$ (A)	23.6, -16.6°	46.5, -21.3°	34.9, -21.3°	23.3, -21.3°	11.6, -21.3°
$I_2/I_1$ (%)	513	465	463	466	462
対基本波比(%)	4.45	3.9	3.9	3.9	3.9

(2) 63kVフィーダ部。各地点の電流不平衡率, および基本波線電流に対する比率は母線部の値と殆ど一致している。

表3-(2) 63kV12kmフィーダ部第5調波計算結果(受電電圧147kV)

	1	4	6	8	10	12
$I_A$ (A)	13.2, -12.4°	11.3, -13.8°	8.85, -14.7°	6.81, -16.1°	4.43, -15.6°	2.35, -19.0°
$I_B$ (A)	9.15, 100.0°	7.7, 98.0°	6.09, 97.0°	4.6, 95.4°	3.03, 95.9°	1.54, 92.6°
$I_C$ (A)	12.9, -151.0°	11.1, -153.0°	8.69, -154.0°	6.68, -156.0°	4.36, -155.0°	2.28, -160.0°
$I_1$ (A)	2.5, 33.8°	2.19, 33.3°	1.71, 32.4°	1.37, 30.7°	0.87, 31.9°	0.49, 26.2°
$I_2$ (A)	11.6, -21.3°	9.9, -23.1°	7.8, -23.9°	5.96, -25.7°	3.89, -25.0°	2.03, -28.9°
$I_2/I_1$ (%)	464	452	456	435	447	414
対基本波比(%)	3.9	3.9	3.9	4.0	3.9	4.1

(3) 3組の10MVA配電系部。前述と同様3組の配電系の数値解析結果を示している。

第3調波の3ケースに比較して記録にバラツキが多いので, 3ケースを総括して1の地点の記録について述べると電流不平衡率は431~580%と, また基本波に対する比率も3.4~4.2%と変動している。

表3-(3) 10MVA配電系第5調波計算結果(受電電圧147kV)

①Dis 1

	1	2	3	4	5	6	7
$I_A$ (A)	1.95, -4.6°	16.6, -18.5°	13.9, -16.9°	11.5, -17.9°	8.31, -18.5°	5.66, -14.5°	3.17, -16.2°
$I_B$ (A)	1.44, 111.0°	12.4, 101.0°	10.0, 100.0°	7.89, 102.0°	6.19, 101.0°	3.88, 100.0°	1.7, 106.0°
$I_C$ (A)	1.86, -140.0°	15.1, -153.0°	12.9, -153.0°	10.2, -155.0°	7.54, -153.0°	5.39, -154.0°	2.67, -164.0°
$I_1$ (A)	0.3, 38.4°	2.44, 13.2°	2.26, 19.9°	2.07, 13.2°	1.2, 13.2°	1.06, 27.6°	0.85, 10.9°
$I_2$ (A)	1.74, -11.4°	14.6, -23.6°	12.2, -23.3°	9.74, -24.0°	7.3, -23.6°	4.92, -22.8°	2.45, -25.3°
$I_2/I_1$ (%)	580	598	540	471	608	464	288
対基本波比(%)	3.4						

(2)Dis 2

	1	2	3	4	5	6	7
$I_A$ (A)	2.4, -10.3°	21.3, -21.0°	17.8, -18.1°	14.9, -18.9°	10.6, -21.0°	7.16, -13.9°	4.32, -14.0°
$I_B$ (A)	1.6, 101.0°	14.4, 92.7°	11.2, 89.5°	9.1, 95.0°	7.21, 92.7°	4.07, 83.8°	1.87, 104.0°
$I_C$ (A)	2.4, -150.7°	20.4, -160.0°	17.9, -161.0°	14.0, -163.0°	10.2, -160.0°	7.75, -162.0°	3.81, -168.0°
$I_1$ (A)	0.49, 36.2°	4.12, 22.0°	4.16, 31.5°	3.47, 20.1°	2.06, 22.0°	2.15, 40.5°	1.41, 17.4°
$I_2$ (A)	2.11, -20.0°	18.5, -29.7°	15.4, -30.0°	12.4, -29.1°	9.24, -29.7°	6.16, -30.4°	3.20, -27.4°
$I_2/I_1$ (%)	431	449	370	357	449	287	227
対基本波比 (%)	4.2						

(3)Dis 3

	1	2	3	4	5	6	7
$I_A$ (A)	2.04, -9.9°	17.9, -21.9°	15.2, -20.6°	12.4, -22.2°	8.95, -21.9°	6.3, -18.8°	3.41, -22.7°
$I_B$ (A)	1.48, 102.0°	13.1, 93.6°	10.7, 93.7°	8.5, 95.8°	6.6, 93.6°	4.1, 94.0°	1.93, 103.0°
$I_C$ (A)	2.02, -147.0°	17.0, -158.0°	14.5, -159.0°	11.2, -160.4°	8.5, -158.0°	6.0, -160.0°	2.75, -168.0°
$I_1$ (A)	0.35, 39.5°	2.84, 20.1°	2.7, 22.2°	2.3, 12.2°	1.42, 20.1°	1.3, 24.5°	0.87, 0.82°
$I_2$ (A)	1.87, -18.2°	15.9, -28.8°	13.3, -28.6°	10.6, -29.1°	7.95, -28.8°	5.4, -28.3°	2.62, -29.8°
$I_2/I_1$ (%)	523	560	493	461	560	415	301
対基本波比 (%)	3.6						

(4) 以上述べたことを要約すると、母線部、63kVフィーダ部、および10MVA配電系部とも第5調波については逆相分電流の勢力が圧倒的に強く、414~580%と大きな電流不平衡率を示している。

基本波電流に対する比率は母線部、および63kVフィーダ部では、受電変電所を除き大部分が3.9%であり、一部4.45%に達するものもある。この原因は第Ⅱ報で詳述したように、各地点の高調波電流源の逆相分電流が正相分電流より勢力が強い上、各地点の逆相分電流が互いに加算されるよう位相角にあるためと判断する。

#### 4. 受電々庄の影響と総括

表4 供給電圧別の総括表

この課題を解明するため、受電々庄を定格電圧の108%、96%にとって前記と同様の数値解析を行った。

ページ数の制約上詳述できないが、基本波の3種類の電圧別に、

供給電圧	※1 比率			※2 $I_2/I_1$			※3 $I_1$ の位相			※4 $I_2$ の位相		
	%	1st	3rd	5th	1st	3rd	5th	1st	3rd	5th	1st	3rd
108	100	2.64	4.40	4.43	88	335	-37°	70°	60°	-115°	130°	50~70°
100	100	1.53	9.0	4.43	83	450	-37°	68°	26~34°	-115°	132°	21~29°
96	100	1.03	3.30	4.43	81	550	-37°	66°	73~80°	-115°	125°	63~66°

※1 各調波電流の基本波に対する比率(%) ※2 各調波電流不平衡率(%) ※3 各調波電流の正相分電流の位相角範囲

※4 各調波電流の逆相分電流の位相角範囲

①基本波に対する各調波の比率(%), ②各調波の電流不平衡率(%), ③正相分電流の位相角, ④逆相分電流の位相角を取り纏めたものを表4に示す。



4-1 基本波電流に対する比率(%)各電圧の基本波の100(%)に対して、

(1) 第3調波の比率は供給電圧108%, 100%, 96%に対して、それぞれ2.6%, 4.5%, 1.0%, と入力電圧が下がればその比率は低下している。しかし、過電圧運転すると、第3調波でも2.6%に達する点は注目すべきであろう。

(2) 第5調波の比率は供給電圧108%, 100%, 96%に対して、それぞれ 4.4%, 3.9%, 3.3%と第3調波に比較して比率が大きく、供給電圧の低下に対して比率の低下率も少ない。96%の供給電圧においてすら 3.3%にも達している。筆者が本研究を開始した動機は、変圧器の励磁電流に含まれる高調波の電力系統における分布状況を精度の高い解析法によって定量的に解明することであった。この意味からすれば満足した結果が得られらものと確信する。反面これら高調波の軽減対策については別途研究の余地が残されている。

4-2 各調波の電流不平衡率(%)

(1) 基本波 表に示すとおり、各受電々圧とも0.43%と極めて低い値を示している。電流不平衡の発生源は配電系に分散するV-V結線変圧器であることは明らかであるが、第Ⅱ法で既に報告したようにa相、b相、c相各共通の進み接続変圧器の組み合わせを合理化すれば、系統全体として基本波の平衡化が保持しうるということが明らかになった。

(2) 第3調波 この電流不平衡率は受電々圧96%, 100%, 108%に対して、それぞれ81%, 83%, 88%と理論式で推定しうる範囲に収まっている。

(3) 第5調波 この不平衡率は受電々圧108%, 100%, 96%に対して、それぞれ335%, 450%, 550%と入力電圧が低下するほど増大している。

このことは、供給電圧の低下に対して正相分電流は比例して減少するが、逆相分電流の減少率の傾斜が非常に緩やかなためであると判断する。

4-3 正相分電流の位相

(1) 基本波の位相は $-37^{\circ}$ と一定値を示している。

(2) 第3調波の位相は受電々圧に対して小幅に $66^{\circ} \sim 70^{\circ}$ と変化しているが、しかし、同一受電々圧では一定値をとっている。

(3) 第5調波の位相は受電々圧に対して、第3調波よりは位相の変化が大きく、100%, 96%の受電々圧に対しては同一電圧でも多少の変動が認められている。

4-4 逆相分電流の位相

(1) 基本波の位相は各受電々圧に対して $-115^{\circ}$ と一定値を示している。

(2) 第3調波の位相は各受電々圧に対してそれぞれ  $-130^{\circ}$ ,  $-132^{\circ}$ ,  $-125^{\circ}$ と多少変化するが、電圧別では一定値をとる。

(3) 第5調波の位相は表に示すように各電圧別に差が認められると、同時に同一受電々圧に対しても多少の変動が認められる。

## 5. む す び

以上、数年にわたる筆者の提唱する、複素行列法による変圧器の励磁電流に起因する高調波電流分布解析法の確立、本学の大規模計算機（M760/8）用プログラムの開発、および大規模モデル電力系統を対象とした上記プログラムによる数値解析を完成させたことにより、筆者の当初の研究目標が一応達成されたことに心から満足している。

これら研究の成功は偏に本学の理事者の英断により、最近2機種の大規模計算機が導入され、我々に電子計算機を活用する研究の道を開いていただいたことによるもので、深湛なる敬意と謝意を表す。また、最後に石井、清水両教官の御指導、御鞭撻によるものと深く感謝してこの報告書を終わる。

## 【参考文献】

- (1) 福井工業大学研究紀要 1986（16号）日原良造
- (2) 福井工業大学研究紀要 1987（17号）日原良造
- (3) 福井工業大学研究紀要 1988（18号）日原良造
- (4) 福井工業大学研究紀要 1989（19号）日原良造